Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 1059-1071

Effect of Substrates on Some Morphological and Physiological Traits of Two Basil Cultivars in Aquaponic System

S. Yonesi[1], K. Hemmati[2]*, P. Moradi [3], S. Khorasaninejad [2]

1 and 2- Ph.D. Student of Medicinal Plants and Associate Professor, Department of Horticulture and Landscape Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.
3- Associate Professor, Department of Horticulture Sciences, Agriculture Faculty, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
(*- Corresponding Author Email: kh_hemmati@gau.ac.ir)

Received:	07-02-2023	**How to cite this article:**
Revised:	16-06-2023	Younesi, M., Hemmati, K., Moradi, P., & Khorasaninejad, S. (2024). Effect of substrates on some morphological and physiological traits of two basil cultivars in aquaponic system. *Journal of Horticultural Science*, *37*(4), 1059-1071. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80994.1235
Accepted:	05-07-2023	
Available Online:	09-07-2023	

Introduction

The aquaponic cultivation system, which is a combination of aquaculture and hydroponic systems, is among the novel cultivation systems. In an aquaponics system, it is possible to simultaneously produce aquatic animals and vegetables. One of the most important components of each soil-free system is the selection of a suitable substrate. This substrate makes water and nutrients available for the root system and also contributes to the proper establishment of the plant. It must also be non-toxic and should not impair plant growth. Another point to consider in the selection of the substrate is its cost and availability, as the transport process will increase the costs of initial establishments in such systems. Amon vegetables, basil is a special crop with a short growing season and high economic value, which is also highly suitable for an aquaponic system. The present study was carried out with the aim of comparing some morphological and physiological traits of 'purple' and 'green' basil cultivars in different substrates in the aquaponics system.

Materials and Methods

The present study was conducted as a factorial based on a completely randomized design with three replicates in a research greenhouse located in Zanjan city. The experimental treatments included 10 substrates (cocopeat, perlite, sand, pumice, cocopeat + perlite (50:50), cocopeat + pumice (50:50), cocopeat + sand (50:50), pumice + sand (50:50), pumice + perlite (50:50) and sand + perlite (50:50)) and two basil cultivars ('green' and pueple). The aquaponic system in this study comprised of a 300 L fish tank containing 100 common carps. The fish were nurtured twice a day with powdered fish feed containing protein, carbohydrates, lipids, vitamins, etc. The water in the fish tank was filtered and fish wastes were removed in a filtration tank before entering the aquaponics medium to be used by the plant root system. Chemical properties of the fish water including pH, and nitrite (NO_2), nitrate (NO_3), and ammonium (NH_4) concentrations were controlled using diagnostic kits on a weekly basis. At the flowering stage, various traits including plant height, dry and fresh weights of roots and shoots, number of nods, number of leaves, and leaf area were measured to investigate the growth of basil plants. Also, physio-phytochemical traits including the contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid and anthocyanin were measured. Analysis of variance of the data was carried out using the SAS software. Also, the least significant difference method (LSD) was used for the comparison of means.

Results and Discussion

According to the results, the greatest plant height (60.57 cm), shoot fresh weight (90.57 g), root fresh weight (22.33 g), and leaf number (133.99) belonged to purple basil and the lowest value for these traits were observed

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80994.1235

in green basil cultivar. The results of the mean comparison for the morphological traits indicate the superiority of perlite + cocopeat compared with the other substrates. Basil plants cultivated in sand substrate exhibited the lowest values for growth traits compared to other treatments. Analysis of the interaction effect between substrate and cultivar revealed that the highest number of nodes (10.5), dry weight of shoots (25.17 g), dry weight of roots (4.67 g), and leaf area (17.13 cm2) were observed in the perlite + cocopeat substrate with purple basil. Conversely, the lowest values for these traits (5.23, 12.93 g, 1.46 g, and 11.03 cm2, respectively) were recorded in the silt substrate with the green basil cultivar. The results related to physio-phytochemical traits showed that the highest content of chlorophyll a (1.57 mg g^{-1} FW) and total chlorophyll (2.1 mg g^{-1} FW) were observed in the perlite + cocopeat substrate and green basil. Also, anthocyanin content was the highest (0.17 mg g^{-1} FW) when the purple cultivar was grown in the perlite + c cocopeat substrate. The lowest content of chlorophyll a and total chlorophyll were recorded in the sand substrate and purple cultivar with 0.96 and 1.17 mg g^{-1} FW, respectively. Also, the lowest content of anthocyanin was related to the green basil cultivar with 0.058 mg g^{-1} FW.

Conclusion

Overall, the 'purple' cultivar of basil was superior to the 'green' cultivar regarding most traits in the aquaponic system. Also, substrates containing perlite and cocopeat led to better results compared with the other substrates, whereas the basil plants grown in sand and pumice had lower growth, relatively.

Keywords: Chlorophyll, Cocopeat, Dry weight, Perlite

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ١٠٧١-١٠٥٩

اثر بسترهای کشت بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم ریحان در سیستم آکواپونیک

سمیه یونسی[۱]- خدایار همتی[۲*]- پژمان مرادی[۳]- سارا خراسانی نژاد[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴

چکیده

انواع مختلفی از تکنیک‌های کشت بدون خاک در تولید محصولات کشاورزی توسعه یافته‌اند از جمله سیستم‌های کشت هیدروپونیک و آکواپونیک. سیتم کشت آکواپونیک تلفیقی است از تولید آبزیان و هیدروپونیک که در آن از فضولات ماهی در تغذیه‌ی گیاهان استفاده می‌شود. هدف از انجام این تحقیق مقایسه‌ی برخی صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد دو رقم ریحان 'سبز' و 'بنفش' تحت تأثیر بسترهای مختلف در سیستم کشت آکواپونیک بود. این تحقیق براساس طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در یک گلخانه‌ی تحقیقاتی در زنجان انجام شد. تیمارها شامل: ده بسترکشت کوکوپیت، پرلیت، ماسه، پوکه معدنی، و مخلوط ۵۰ درصد (کوکوپیت و پرلیت، کوکوپیت و پوکه معدنی، کوکوپیت و ماسه، پوکه معدنی و ماسه، پوکه معدنی و پرلیت، ماسه و پرلیت)، و دو رقم ریحان ('سبز' و 'بنفش') بود. پس از گذشت ۴ ماه برخی صفات رشدی ریحان مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج تجزیه واریانس برهم‌کنش متقابل رقم × بستر کشت بر صفات تعداد گره، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر ریشه و ارتفاع گیاه معنی‌دار شد. اثر متقابل رقم × بستر بر صفات فیزیو فیتوشیمیایی شامل کلروفیل a، کلروفیل کل و آنتوسیانین دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بود اما بر صفات کلروفیل b و کاروتنوئید اثر معنی‌داری را نشان نداد. در این تحقیق بیشترین مقدار صفات رشدی ارقام ریحان در بستر کشت ترکیبی پرلیت و کوکوپیت به‌دست آمد. رقم ریحان 'بنفش' در بسیاری از صفات از رشد بیشتری نسبت به رقم ریحان 'سبز' در سیستم کشت آکواپونیک برخوردار بود. به‌طور کلی بسترهای کشت حاوی پرلیت و کوکوپیت از رشد مطلوب‌تری نسبت به سایر بسترهای کشت برخوردار بودند و در بسترهای ماسه و پوکه معدنی ارقام ریحان رشد کمتری را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: پرلیت، کلروفیل، کوکوپیت، وزن خشک

مقدمه

افزایش نرخ رشد جمعیت در دنیا با توجه به کمبود زمین‌های کشاورزی، نیاز جامعه بشری به غذا را بیشتر از همیشه با چالش مواجه کرده است (de Carvalho *et al.*, 2015). پیش‌بینی می‌شود تا پایان سال ۲۰۳۰ میلادی جمعیت جهان به بیش از ۸/۵ میلیارد نفر رسیده و تا پایان ۲۰۵۰ میلادی به ۹/۷ میلیارد نفر برسد (UN, 2016). علاوه بر چالش افزایش جمعیت، مشکلات زیست‌محیطی مانند تخریب و فرسایش خاک‌ها و کمبود منابع آبی نگرانی عظیمی را در مسئله‌ی تأمین غذای جوامع بشری به‌وجود آورده است (Lal, 2013). در بین روش‌های نوین کشت که به این منظور توسعه یافته‌اند می‌توان به سیستم کشت آکواپونیک که تلفیقی از سیستم‌های کشت آکواکالچر و هیدروپونیک است اشاره کرد که در آن می‌توان به‌صورت هم‌زمان اقدام به تولید آبزیان و سبزیجات مختلف کرد (Rakocy *et al.*, 2004; Roosta & Arabpour, 2013). در این رابطه‌ی هم‌زیستی،

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: kh_hemmati@gau.ac.ir)
۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80994.1235

فضولات تولید شده توسط ماهی بوسیله‌ی فعالیت میکروارگانسیم‌های موجود در آب شکسته شده و متابولیت‌های حاصل به‌مصرف تغذیه‌ای گیاه میرسند و به این شکل ضمن پاکسازی آب از وجود آلوده‌کننده‌ها و کاهش نیاز مصرف کودهای شیمیایی مورد نیاز در پرورش گیاهان، می‌توان بصورت مجدد آب تصفیه‌شده را به‌منظور پرورش ماهی مورد استفاده قرار داد (Latha & Nagesh, 2021). در بین جنس‌های مختلف که در تیره‌ی نعناعیان وجود دارد جنس ریحان *Ocmium basilicum* L. دارای بالاترین سطح از تنوع ژنتیکی بوده و بیش از ۱۵۰ گونه از آن گزارش شده است (Bharathi *et al*., 2012). در بین سبزیجات مختلف، ریحان به‌عنوان یک محصول ویژه، فصل کوتاه و با ارزش اقتصادی بالا، بسیار مناسب کشت در سیستم آکواپونیک می‌باشد (Ferrarezi & Bailey, 2019). ارقام ’سبز‘ و ’بنفش‘ ریحان کاربردهای یکسانی در صنایع غذایی، عطرسازی و دارویی دارند اگرچه ترکیبات تشکیل دهنده بیوشیمیایی آنها تفاوت های زیادی از نظر نوع و مقدار دارند (Makri *et al*., 2008). برخی ارقام ریحان مانند دارک اوپال[1] بدلیل رنگ خاص برگ‌ها به‌عنوان یک گیاه زینتی نیز مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Prinsi *et al*., 2020). در یک مطالعه نتایجی از مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ریحان منتشر شد. در این تحقیق از بین ۵ رقم ریحان کشت شده در سیستم آکواپونیک در فصل تابستان و ۷ رقم کشت شده در فصل پاییز، تنها ۲ رقم به‌عنوان ارقامی با عملکرد اقتصادی که قابلیت تولید در سیستم کشت آکواپونیک را داشته باشند معرفی شدند (Ferrarezi & Baily, 2019).

یکی از مهم‌ترین اجزای هر سیستم کشت بدون خاک، انتخاب بستر کشت مناسب است تا ضمن فراهم کردن آب و عناصر غذایی برای ریشه و استقرار مناسب گیاه، فاقد اثرات سمی بوده و اختلالی را در رشد گیاه ایجاد نکند (Gruda *et al*., 2013)، همچنین یکی از نکات پر اهمیت در انتخاب بستر کشت، ارزان و در دسترس بودن آن می‌باشد چرا که هزینه‌ی حمل و نقل بستر کشت باعث افزایش هزینه‌ی اولیه استقرار چنین سیستم‌هایی می‌شود (Kharrazi *et al*., 2020;Doaguie & Ghazanfari, 2015). هدف از این تحقیق مقایسه‌ی برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم ریحان در بسترهای مختلف تحت سیستم های کشت آکواپونیک می باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش درقالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در یک گلخانه‌ی تحقیقاتی در شهر زنجان انجام شد. تیمارها شامل ده بسترکشت کوکوپیت، پرلیت، ماسه، پوکه معدنی و مخلوط ۵۰ درصد (کوکوپیت و پرلیت، کوکوپیت و پوکه معدنی، کوکوپیت و ماسه، پوکه معدنی و ماسه، پوکه معدنی و پرلیت، ماسه و پرلیت) و دو رقم ریحان (’سبز‘ و ’بنفش‘) بود. بذرهای خریداری شده از شرکت پاکان بذر در گلدان سایز ۱۰ کشت شد و تا زمان ظهور گیاهچه آبیاری به‌صورت منظم انجام شد و در نهایت پس از تنک، تعداد ۱۰ گیاهچه با فاصله‌ی مناسب درون گلدان حفظ شدند. سیستم آکواپونیک در این آزمایش شامل یک مخزن ۳۰۰ لیتری پرورش ماهی بود که تعداد ۱۰۰ ماهی گرمابی از نوع کپور در سایز بند انگشتی به آن اضافه شدند. ماهی‌ها روزانه دو بار به‌وسیله‌ی پودر کامل غذایی حاوی پروتئین، کربوهیدرات، چربی، املاح و ویتامین‌ها تغذیه شدند. به‌طور کلی تجهیزات سیستم آکواپونیک در این پژوهش شامل مخزن نگهداری ماهی‌ها (وان)، اتصالات، لوله‌ها و پمپ آب بود. آب مخزن ماهی قبل از رسیدن به بستر گیاه در یک مخزن فیلتراسیون، پمپاژ و پس از ته‌نشست زائدات و فضولات ماهی، وارد مخزن آکواپونیک شده تا مورد استفاده‌ی گیاهان قرار بگیرند. آبیاری گیاهان بصورت روزانه و در ۳ نوبت انجام گرفت. دبی آب ورودی برای تمامی تیمارها برابر ۳۰۰ میلی‌لیتر در ساعت و برای همه‌ی تیمارها بصورت یکسان اعمال شد. آب‌های وارد شده پس از عبور از بستر به‌عنوان آب خروجی از زیر گلدان‌ها، توسط سطح شیب دار جمع آوری و مجدداً به مخزن ماهی‌ها باز می‌گشت. خصوصیات شیمیایی آب ماهی‌ها (جدول ۱)، اعم از pH، غلظت نیتریت (NO_2)، نیترات (NO_3) و آمونیوم (NH_4) توسط کیت‌های تشخیصی به طور هفتگی کنترل شدند. همچنین از یک دستگاه اکسیژن‌متر پرتابل جهت پایش سطح اکسیژن آب استفاده شد. لازم به ذکر است که هیچ کودی در سیستم آکواپونیک استفاده نشده بود و گیاهان با فضولات ماهی‌ها و بقایای غذای ماهی تغذیه شدند.

جدول ۱- پارامترهای کیفی آب مخزن ماهی

Table 1- The water quality parameters in the fish tank

پارامتر Parameter	مقدار Value
pH	7.5
نیتریت Nitrite ($mg.L^{-1}$)	0.5
نیترات Nitrate ($mg.L^{-1}$)	175
آمونیوم Ammonium ($mg.L^{-1}$)	1.7
اکسیژن محلول Soluble Oxygen ($mg.L^{-1}$)	7
درجه حرارت Temperature (°C)	26.3

۱- Dark Opal

در مرحله گلدهی اندازه‌گیری صفات مختلف به‌منظور بررسی رشد و عملکرد گیاه ریحان انجام شد. ویژگی‌های مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد گره، تعداد برگ و سطح برگ اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ از هر بوته ده برگ توسعه یافته انتخاب و توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (Delta-T, Cambridge, UK) اندازه‌گیری و میانگین برای یک برگ محاسبه شد. همچنین قبل از برداشت، شمارش برگ‌ها و گره های گیاه انجام پذیرفت. به‌منظور تعیین وزن تازه‌ی اندام هوایی و ریشه، پس از برداشت ریحان، گیاه را از محل طوقه با چاقوی تیز به دو بخش هوایی و ریشه تقسیم و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تازه بخش هوایی و ریشه ثبت شد. پس از خشک نمودن اندام های هوایی و ریشه گیاه که به مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد انجام گرفت، وزن خشک توسط ترازوی دیجیتال ثبت گردید. به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید، ۰/۱ گرم از بافت تر برگ گیاه در داخل هاون چینی با ده میلی‌لیتر استون کوبیده و یک مخلوط هموژن تهیه شد. یک میلی‌لیتر از مخلوط را با ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۸۰۰۰ rpm سانتریفیوژ انجام شد، سپس فازهای رویی برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید تام جدا گردید. آزمایش‌ها به روش اسپکتروفتومتری و با دستگاه اسپکتروفتومتر (VIS/UV) انجام شدند. فاز رویی جداشده را در کووت ریخته و مقادیر جذب کلروفیل a، b و کاروتنوئید تام، به‌ترتیب در طول‌موج ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۸۰ نانومتر خوانده شدند، در نهایت با استفاده از معادله ۱ تا ۳ مقادیر کلروفیل a (رابطه ۱) و کلروفیل b (رابطه ۲) و کلروفیل کل (رابطه ۳) برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه گردید. (Arnon, 1949).

$$\text{Chl a } (mg\,g^{-1}\text{FW}) = 12.7 \times \text{A663} - 2.69 \times \text{A645} \quad (۱)$$

$$\text{Chl b } (mg \times g^{-1}\text{FW}) = 22.9 \times \text{A645} - 4.68 \times \text{A663} \quad (۲)$$

$$\text{Chl T } (mg \times ml^{-1}\text{FW}) = 20.2 \times \text{A645} + 8.02 \times \text{A663} \quad (۳)$$

مقادیر کاروتنوئید تام نیز بر اساس (Lichtenthaler & Buschmann, 2001) اندازه‌گیری شد و با رابطه‌ی ۴ محاسبه گردید.

$$\text{Carotenoid } T\ (\mu g \times ml^{-1}\text{FW}) = \frac{(1000\times \text{A470}) - (1.82 \times \text{Chl a}) - (85.02 \times \text{Chl b})}{198} \quad (۴)$$

برای سنجش آنتوسیانین ۰/۰۵ گرم نمونه‌ی برگی در ۱۰ سی‌سی متانول اسیدی حل شد، مخلوط حاصل به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت و سپس عصاره‌ی حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب عصاره در طول موج ۵۵۰ نانومتر و با استفاده از اسپکتروفوتومتر خوانده و بر اساس میلی‌گرم در گرم وزن تازه و با استفاده از رابطه‌ی (۵) محاسبه شد (Wagner, 1979). در این رابطه A، b و c به‌ترتیب نشان دهنده‌ی جذب نوری محلول، عرض کوت (سانتی‌متر) و غلظت محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم می‌باشند.

$$A = \varepsilon bc \quad (۵)$$

به‌منظور تجزیه واریانس و تحلیل آماری داده‌ها، از نرم‌افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثر تیمارها بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر رقم بر صفات ارتفاع، تعداد گره، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفات تعداد برگ و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بستر کشت دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر کلیه صفات مورفولوژیکی بود. همچنین اثر متقابل بستر و رقم به استثنای تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه و ارتفاع گیاه بر بقیه صفات رویشی دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بود. نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیو فیتوشیمیایی (جدول ۳) نشان داد اثر ساده‌ی بستر کشت بر تمامی صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر رقم بر صفت آنتوسیانین، کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد اما اثر معنی داری بر صفات کاروتنوئید و کلروفیل b نداشت. اثرات متقابل بستر و رقم دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر صفات آنتوسیانین، کلروفیل a و کلروفیل کل بودند اما اثر معنی‌داری بر کاروتنوئید و کلروفیل b نشان ندادند.

مقایسه میانگین اثر تیمار ها بر صفات مورفولوژیکی

براساس نتایج جدول ۴ بیشترین ارتفاع (۶۰/۵۷ سانتی‌متر)، بیشترین وزن تر اندام هوایی (۹۰/۵۷ گرم)، بیشترین وزن تر ریشه (۲۳/۳۳ گرم) و بیشترین تعداد برگ (۱۳۳/۹۹) به رقم ریحان 'بنفش' اختصاص یافت و کمترین مقادیر میانگین صفات مورفولوژیکی در رقم ریحان 'سبز' دیده شد. نتایج مقایسه میانگین اثر بستر بر صفات مورفولوژیکی نشان دهنده‌ی برتری بستر کشت ترکیبی پرلیت و کوکوپیت نسبت به سایر بسترهای کشت بود. به‌نحوی‌که بالاترین میانگین صفات مذکور در این بستر کشت حاصل شد، همچنین گیاه ریحان در بستر کشت ماسه دارای کمترین رشد نسبت به سایر بسترهای آزمایشی بود (جدول ۵). نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل بستر کشت و رقم نشان داد که بیشترین رشد گیاه ریحان در بستر کشت ترکیبی پرلیت و کوکوپیت در رقم ریحان 'بنفش' و کمترین

رشد در رقم ریحان 'سبز' و بستر کشت ماسه حاصل شد. بیشترین تعداد گره (۱۰/۵)، وزن خشک اندام هوایی (۲۵/۱۷گرم)، وزن خشک ریشه (۴/۶۷ گرم) و سطح برگ (۱۷/۱۳سانتی‌متر مربع) در رقم ریحان 'بنفش' و بستر کشت ترکیبی پرلیت و کوکوپیت جاصل شد. کمترین میانگین پارامترهای تعداد گره (۵/۲۳)، در بسترهای خالص ماسه و کوکوپیت حاصل شد اما اختلاف معنی‌داری با بستر پوکه معدنی در این صفت نشان ندادند. کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی (۱۲/۹۳گرم) در بستر ماسه به‌دست آمد اما اختلاف معنی‌داری با بستر پوکه معدنی نداشت، همچنین کمترین میزان سطح برگ (۱۱/۰۳ سانتی‌متر مربع) در بستر ماسه مشاهده شده ولی اختلاف معنی‌داری با بستر کوکوپیت نشان نداد. کمترین میزان وزن خشک ریشه (۱/۴۶ گرم) نیز در رقم ریحان 'سبز'ی که در بستر ماسه کاشته شده بودند به‌دست آمد (جدول ۶).

با توجه به نتایج گرفته شده تمامی صفات رویشی ریحان در بستر کشت ترکیبی پرلیت و کوکوپیت، از نظر کمیت مقادیر بالاتری را به خود اختصاص دادند. در واقع تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترها موجب شد رشد گیاهان به‌طور مستقیم و غیر مستقیم تحت تأثیر قرار گرفته و بنابراین فاکتورهای رشدی مانند ارتفاع، وزن تر و خشک، تعداد برگ و سطح برگ تغییرات مشخصی را در بسترهای کشت متنوع نشان دهند. بطورکلی می‌توان گفت که در یک بستر کشت ایده‌آل، فراهمی و دسترسی به عناصر غذایی نقش عمده‌ای دربهبود رشد خواهد داشت. گیاه ریحان به دلیل کشت بسیار زیاد در سراسر دنیا از تنوع ژنتیکی فوق‌العاده‌ای بهره می‌برد و ارقام و جمعیت‌های گوناگون آن به لحاظ صفات مورفولوژیکی، بسیار متنوع هستند. همچنین شرایط مختلفی که اجزای سازنده‌ی یک محیط کشت را ایجاد می‌نماید با کوچکترین تغییری بطور مستقیم بر رشد و نمو گیاهان تأثیر می‌گذارند. از جمله‌ی این اجزا می‌توان به بستر کشت، دمای محیط و دمای آب اشاره کرد، به‌طور معمول سیستم‌های آکواپونیک ثبات بالایی در تعادل عناصر غذایی دارند و انتخاب بسترهای کشت مناسب می‌تواند عناصر غذایی را به نحو مطلوب‌تری در اختیار ریشه‌های گیاه قرار دهد. مطالعاتی که پیرامون اثر بستر بر صفات رشدی گیاهان مختلف در سیستم‌های کشت بدون خاک صورت گرفته است نتایج متفاوت و گاهاً متضادی با یکدیگر ارائه داده‌اند. دلایل مختلفی را در این مورد می‌توان ذکر کرد. درکشت توت فرنگی کاربرد بستر ترکیبی با درصد بالای پرلیت نسبت به زئولیت در بستر کشت با افزایش عملکرد همراه بوده است (Fotouhi Ghazvini *et al.*, 2007)، در صورتی‌که در تحقیقی دیگر بیشترین عملکرد توت فرنگی کشت شده در سیستم آکواپونیک در بستر خالص پرلیت حاصل شد است (Roosta & Afsharipoor, 2012). در واقع ترکیب نمودن بسترهای کشت با یک‌دیگر منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب و یا هوا در محیط اطراف ریشه می‌شود. در یک مطالعه اثر بسترهای مختلف بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل ژربرا در کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت، در بین ۱۴ بستر کشت مختلف، بستر ترکیبی پرلیت ۲۵٪ + پیت ۷۵٪ + پوکه ۵٪ تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری در صفاتی مانند تعداد گل، قطر دیسک گل، ارتفاع و ماندگاری پس از برداشت گل نسبت به سایر بسترها نشان دادند. آنها چنین نتیجه‌گیری کردند که اختلاف بسترها از لحاظ ایجاد شرایط مناسب شامل رطوبت، تهویه و سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی از دلایل تفاوت کمی و کیفی گل‌های ژربرای رشد یافته در بسترهای مختلف هستند (Khalaj *et al.*, 2014). اثرات بسترهای مختلف کاشت بر عملکرد و کیفیت گل داوودی در دو سیستم آکواپونیک و هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه‌ی کلی گزارش شد که بستر کشت ترکیبی کوکوپیت ۷۵٪ + پرلیت ۲۵ ٪ موجب رشد بهتر ارقام داوودی شد که دلیل آن مربوط به خصوصیات فیزیکی خوب پرلیت و خصوصیات مناسب فیزیکوشیمیایی کوکوپیت بویژه توانایی بالا در حفظ آب و مواد غذایی است (Alaei *et al.*, 2014). در پژوهش حاضر عملکرد ریحان در بسترهای خالص به‌ویژه ماسه از سایر بسترهای کشت کمتر بود، ماسه به‌عنوان یک بستر ارزان قیمت و در دسترس کاربرد فراوانی در کشت گیاهان مختلف دارد اما ظرفیت نگهداری آب در آن بسیار اندک بوده و از ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار کمی برخوردار است، به‌همین دلیل افزودن سایر ترکیبات مانند پرلیت یا کوکوپیت به آن با افزایش صفات رشدی و عملکرد همراه بوده است، در واقع ضعف‌های محتمل در بسترهای خالص به‌عنوان بستری برای استقرار گیاه ریحان در ترکیب با سایر بسترها کمتر شده و موجب بهبود رشد گیاه شده است. به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از مطالعات مختلف می‌توان این‌طور استنباط کرد که واکنش رشدی گیاه نسبت به بستر کشت در گونه‌های گیاهی متنوع، کاملا متفاوت است و صرف‌نظر از نوع گیاه، شرایط محیط رشد مانند دما، میزان آب و فراهمی اکسیژن برای ریشه در واکنش گیاه نسبت به بستر کاملا مؤثر است.

مقایسه میانگین اثر تیمارها بر صفات فیزیو فیتوشیمیایی

مقایسه میانگین اثر ساده بستر بر صفات فیزیوفیتوشیمیایی نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b (0.52 mg g $^{-1}$ FW) و کاروتنویید (0.30 mg g $^{-1}$ FW) در تیمار کوکوپیت+ پوکه‌معدنی به‌دست آمد (جدول ۷). براساس نتایج مقایسه میانگین که در جدول ۸ آورده شده است، بیشترین مقادیر کلروفیل a (1.57 mg g $^{-1}$ FW) و کلروفیل کل (2.1 mg g $^{-1}$ FW) در رقم ریحان 'سبز' و بستر کشت ترکیبی پرلیت و کوکوپیت مشاهده شد، همچنین بالاترین مقدار آنتوسیانین (0.17 mg g $^{-1}$ FW) در رقم ریحان 'بنفش' و بستر کشت ترکیبی پرلیت و کوکوپیت به‌دست آمد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی ریحان در بسترهای کشت مختلف

Table 2- ANOVA for the morphological traits of basil (*Ocimum basilicum* L) under different media

منبع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares							
		ارتفاع گیاه Plant height	تعداد گره Node number	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area
رقم Cultivar	1	257.7 **	72.16 **	437.4 **	30.84 **	20.4 **	0.39 *	861.6 *	12.51 **
بستر Medium	9	418.5 **	8.21 **	1215.7 **	72.54 **	72.6 **	5.04 **	3548.2 **	10.54 **
رقم × بستر Medium ×Cultivar	9	1.2 ns	0.81 **	3.4 ns	0.07 ns	0.8 **	0.22 **	195.4 ns	0.69 **
خطا Error	40	2.4	0.08	4.9	0.22	0.2	0.07	175.8	0.08
کل Total	59	----	----	----	----	----	----	----	----
ضریب تغییرات CV (%)	----	2.63	3.80	2.40	2.10	2.43	7.19	10.18	2.21

ns، **، * به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ ٪ و ۵٪.

ns and *, ** : non-significant , and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

کمترین مقادیر میانگین صفات کلروفیل a (0.96 mg g $^{-1}$ FW) و کلروفیل کل (1.17 mg g $^{-1}$ FW) در رقم ریحان 'بنفش' و بستر کشت ماسه حاصل شد. کمترین مقدار آنتوسیانین نیز به رقم ریحان 'سبز' (0.058 mg g $^{-1}$ FW) اختصاص یافت. در مطالعات مختلفی که صورت گرفته است میزان رنگدانه‌های گیاه تحت تأثیر بسترهای مختلف کشت قرار گرفته است. در یک تحقیق اثر بسترهای مختلف پرلیت، کوکوپیت و نسبت‌های مختلف آنها به همراه بستر خالص ماسه بر صفات رویشی و فیزیولوژی یکی از ارقام تجاری رز در سیستم هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق کلیه صفات مورد مطالعه تحت تأثیر بسترهای رشد قرار گرفتند. براساس نتایج حاصله بیشترین سبزینگی برگ در تیمار ۲۵ درصد پرلیت + ۷۵ درصد کوکوپیت حاصل شد. پژوهشگران دلیل این امر را اسیدی بودن محیط کوکوپیت و افزایش جذب آهن نسبت به سایر محیط‌های کشت عنوان کردند (Roosta *et al.*, 2017). در تحقیقی دیگر از ترکیب‌های مختلفی مانند پیت خزه، پرلیت، کوکوپیت و پسماند شیرین بیان بر ویژگی‌های رشدی شمعدانی، بالاتری میزان کلروفیل کل در تیمار ترکیبی پیت و پسماند شیرین بیان حاصل شد. محققان دلیل این امر را افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر در بستر کشت دانستند که با افزایش در ساخت کلروفیل همراه بوده است (Ghasemi Ghehsareh *et al.*, 2021). به‌طور کلی کاهش میزان رطوبت در بستر کشت با کاهش جذب عناصر موجود در محلول غذایی همراه است که در نهایت به کاهش رشد و محتوای رنگدانه‌ها منجر می‌شود (Pivot *et al.*, 1993). آنتوسیانین به‌عنوان یک متابولیت ثانویه نقش‌های فیزیولوژیکی مختلفی را در گیاه ایفا می‌کند. نقش آنتوسیانین به‌عنوان رنگدانه (Mol *et al.*, 1998) و حفاظت اندام‌های رویشی در مقابل تنش‌های غیر زیستی مانند سمیت عناصرقابل توجه است (Landi *et al.*, 2014). همچنین در ارقام 'بنفش'، آنتوسیانین نقش کلیدی را در برابر حفاظت نوری دستگاه فتوسنتزی در برابر تابش‌های نوری شدید انجام می‌دهد (Tattini *et al.*, 2014). مطالعات صورت گرفته پیرامون مقدار آنتیوسیانین در ارقام 'سبز' و 'بنفش' تفاوت چشمگیر بین میزان این ترکیب متابولیتی را در این ارقام نشان داده است (Ferrarezi & Bailey, 2019; Prinsi *et al.*, 2020).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیوفیتوشیمیایی ریحان در بسترهای مختلف کشت

Table 3- ANOVA for the physio-phytochemical traits of basil (*Ocimum basilicum* L) under different media

منبع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		کلروفیل a **Chlorophyll a**	کلروفیل b **Chlorophyll b**	کلروفیل کل **Total Chlorophyll**	آنتوسیانین **Anthocyanin**	کاروتنوئید **Carotenoid**
رقم Cultivar	1	0.0206 **	0.000002 ns	0.0206 **	0.14497 **	0.00049 ns
بستر Medium	9	0.1067 **	0.060816 **	0.3139 **	0.00102 **	0.01718 **
رقم × بستر Medium ×Cultivar	9	0.159 **	0.000001 ns	0.0159 **	0.00016 **	0.00049 ns
خطا Error	40	0.0007	0.000149	0.0011	0.00001	0.00053
کل Total	59	----	----	----	----	----
ضریب تغییرات CV (%)	----	2.28	3.53	2.20	3.35	12.28

ns، **، * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ ٪ و ۵٪

ns and *, ** : non-significant, and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ٤- اثر رقم بر صفات مورفولوژیکی ریحان

Table 4- The effect of cultivar on the morphological traits of basil

صفت **Attribute** / رقم **Cultivar**	ارتفاع گیاه **Plant height (cm)**	وزن تر اندام هوایی **Shoot fresh weight (g)**	وزن تر ریشه **Root fresh weight (g)**	تعداد برگ **Leaf number (Per plant)**
‘سبز’ 'Green'	56.42 b	90.17 b	21.90 b	126.41 b
‘بنفش’ 'Purple'	60.57 a	90.57 a	23.33 a	133.99 a

* حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح $p<0.05$ می‌باشند.

Similar letter in each column indicate non-significance at $p<0.05$ using LSD test.

نتیجه‌گیری

یکی از دلایل برتری سیستم آکواپونیک در تولید سبزیجات عدم نیاز به استفاده از کود شیمیایی است. علاوه بر تولید محصول سالم، کاهش هزینه‌های تولید از فواید دیگر سیستم‌های آکواپونیک است. نتایج حاصل از یک پژوهش نشان داد که استفاده از پسآب ماهی، نیاز غذایی گیاه در سیستم‌های کشت بدون خاک را به‌طور کامل برطرف می‌کند. اهمیت این موضوع در این است که کاربرد پساب، نیاز به مصرف کود شیمیایی را بسیار کاهش داده و یا حذف نموده است که این مسئله در تولید محصول ارگانیک از اهمیت فراوانی برخوردار است (Filep *et al.*, 2016).

ویژگی‌های مختلفی مانند مقدار دسترسی ریشه به اکسیژن، هدایت الکتریکی، پتانسیل ماتریک، میزان آب سهل‌الوصل و البته ویژگی‌های متفاوت شیمیایی بسترهای کشت و حتی نوع گیاه در نتیجه‌ی نهایی تأثیر بستر بر میزان رشد و عملکرد تأثیر می‌گذارد (Mazari *et al.*, 2019).

یکی از دلایل کاهش رشد در بستر کشت ماسه در سیستم‌های کشت بدون خاک علی‌رغم تأمین ترکیبات غذایی، به ویژگی‌های فیزیکی ماسه مربوط است، کم بودن ظرفیت نگهداری آب در بستر خالص ماسه و کم بودن قابلیت هدایت الکتریکی سبب کاهش جذب عناصر غذایی و آب توسط ریشه در این بسترها شده است و به همین علت عملکرد و اجزای عملکرد ریحان در این بستر کشت از سایر بسترهای مورد استفاده بسیار کمتر بوده است. تغییر شاخص‌های رشد در محیط کشت‌های متفاوت معمولا ناشی از تغییراتی است که در قابلیت هدایت الکتریکی و تغییر نسبت عناصر غذایی در محیط‌کشت پیش می‌آید.

جدول ۵- اثر بستر کشت بر صفات مورفولوژیکی ریحان

Table 3- The effect of medium on the morphological traits of basil

صفت Attribute / رقم Cultivar	ارتفاع گیاه **Plant height (cm)**	وزن تر اندام هوایی **Shoot fresh weight (g)**	وزن تر ریشه **Root fresh weight (g)**	تعداد برگ **Leaf number (Per plant)**
کوکوپیت Cocopeat	68.4183 [b]	104.607 [b]	24.205 [b]	155.7 [ab]
پرلیت Perlite	50.0467 [g]	77.232 [gh]	18.9167 [g]	103.917 [fg]
پوکه معدنی Pumic	64.205 [c]	100.865 [c]	24.3033 [b]	149.717 [bc]
ماسه Silt	50.135 [g]	76.11 [h]	18.2883 [h]	89.317 [g]
کوکوپیت+پوکه معدنی Cocopeat + Pumice	74.5117 [a]	122.082 [a]	30.105 [a]	167.383 [a]
کوکوپیت + پرلیت Cocopeat + Perlite	60.555 [d]	96.812 [d]	24.415 [b]	142.067 [bc]
کوکوپیت+ ماسه Cocopeat +Silt	55.265 [f]	89.798 [f]	21.505 [d]	126.3 [de]
پرلیت+ پوکه معدنی Perlite+ Pumice	57.3867 [e]	93.978 [e]	23.565 [c]	134.283 [cd]
ماسه+ پرلیت Perlite+Silt	50.745 [g]	78.802 [g]	20.145 [f]	114.6 [ef]
ماسه+پوکه معدنی Silt+Pumice	53.6967 [f]	88.5 [f]	20.7517 [e]	118.783 [ef]

* حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح $p<0.05$ می‌باشند.

Similar letter in each column indicate non-significance at $p<0.05$ using LSD test.

جدول ٦- اثر متقابل بستر کشت × رقم بر صفات مورفولوژیکی ریحان

Table 6- The interaction effect of medium ×cultivar on the morphological traits of basil

رقم **Cultivar**	صفت Attribute / بستر Medium	گره در بوته **Nods per plant**	وزن خشک اندام هوایی **Shoot dry weight (g)**	وزن خشک ریشه **Root dry weight (g)**	سطح برگ **Leaf area (cm^2)**
'سبز' 'Green'	کوکوپیت + پوکه معدنی Cocopeat+ Pumice	6.77 [c]	21.65 [b]	4.09 [bc]	13.27 [b]
	پوکه معدنی Pumice	5.40 [e]	13.54 [g]	2.94 [e]	12.03 [de]
	پرلیت + پوکه معدنی Pumic + Perlite	7.30 [b]	20.98 [b]	3.54 [d]	13.23 [b]
	ماسه Sand	5.23 [e]	12.93 [g]	1.46 [f]	11.03 [f]
	پرلیت+کوکوپیت Perlite+ Cocopeat	8.40 [a]	23.58 [a]	5.00 [a]	14.53 [a]
	ماسه + پرلیت Sand+ Perlite	6.30 [d]	20.04 [c]	4.33 [b]	12.63 [c]
	پوکه معدنی+ ماسه Pumice + Sand	6.27 [d]	18.60 [d]	3.71 [cd]	12.43 [cd]
	کوکوپیت+ ماسه Cocopeat+ Sand	6.27[d]	19.60 [c]	4.12 [bc]	11.73 [e]
	کوکوپیت Cocopeat	5.23 [e]	16.31 [f]	3.80 [cd]	11.07 [f]

	پرلیت Perlite	5.97 f	17.12 e	3.63 d	12.30 cd
ʼبنفشʻ 'Purple'	کوکوپیت + پوکه معدنی Cocopeat+ Pumice	10.23 a	23.31 b	4.43 ab	14.27 b
	پوکه معدنی Pumice	7.10 d	15.08 h	2.92 d	12.17 d
	پرلیت + پوکه معدنی Pumic + Perlite	10.37 a	22.42 c	3.88 c	14.10 b
	ماسه Sand	7.17 d	14.10 i	1.57 e	11.27 e
	پرلیت+کوکوپیت Perlite+ Cocopeat	10.50 a	25.17 a	4.67 a	17.13 a
	ماسه + پرلیت Sand+ Perlite	9.20 b	21.46 d	4.14 bc	13.23 c
	پوکه معدنی+ ماسه Pumice + Sand	8.13 b	19.61 e	4.08 bc	13.17 c
	کوکوپیت+ ماسه Cocopeat+ Sand	7.70 bc	18.73 f	4.48 ab	12.90 c
	کوکوپیت Cocopeat	7.50 cd	17.52 g	4.24 abc	12.07 d
	پرلیت Perlite	7.17 d	18.64 f	3.84 c	13.10 c

* حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح $p<0.05$ می‌باشند.

Similar letter in each column indicate non-significance at $p<0.05$ using LSD test.

جدول ۷- اثر بستر کشت بر صفات فیزیو-فیتوشیمیایی ریحان

Table 7- The effect of medium on the physio-phytochemical traits of basil

صفت **Attribute** / رقم **Cultivar**	کلروفیل b **Chlorophyll b (mg.g $^{-1}$ FW)**	کاروتنویید **Carotenoid (m. g $^{-1}$ FW)**
کوکوپیت Cocopeat	0.466862 b	0.22997 b
پرلیت Perlite	0.258625 h	0.17629 cd
پوکه معدنی Pumic	0.411796 c	0.22893 b
ماسه Silt	0.199237 i	0.12329 f
کوکوپیت+پوکه معدنی Cocopeat+ Pumice	0.524021 a	0.30152 a
کوکوپیت + پرلیت Cocopeat+ Perlite	0.380341 d	0.19865 c
کوکوپیت+ ماسه Cocopeat+Silt	0.314349 f	0.15973 de
پرلیت+ پوکه معدنی Perlite+ Pumice	0.349348 e	0.17874 cd
ماسه+ پرلیت Perlite+Silt	0.270853 h	0.13462 ef
ماسه+پوکه معدنی Silt+Pumice	0.28613 g	0.1521 de

* حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح $p<0.05$ می‌باشند.

Similar letter in each column indicate non-significance at $p<0.05$ using LSD test.

جدول ۸- اثر متقابل بستر کشت × رقم بر صفات فیزیو-فیتوشیمیایی ریحان

Table 8- The interaction effect of medium ×cultivar on the physio-phytochemical attributes of basil

رقم Cultivar	صفت Attribute / بستر Medium	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g -1 FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g -1 FW)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g-1 FW)
'سبز' 'Green'	کوکوپیت + پوکه معدنی Cocopeat+ Pumice	1.275 b	1.74 b	0.081 ab
	پوکه معدنی Pumice	0.963 d	1.22 e	0.061 de
	پرلیت + پوکه معدنی Pumic + Perlite	1.282 b	1.69 b	0.077 bc
	ماسه Sand	0.987 d	1.2 f	0.058 e
	پرلیت+کوکوپیت Perlite+ Cocopeat	1.579 a	2.10 a	0.085 a
	ماسه + پرلیت Sand+ Perlite	1.165 c	1.55 c	0.075 bc
	پوکه معدنی+ ماسه Pumice + Sand	1.160 c	1.47 d	0.072 c
	کوکوپیت+ ماسه Cocopeat+ Sand	1.168 c	1.52 cd	0.077 bc
	کوکوپیت Cocopeat	1.149 c	1.42 d	0.064 de
	پرلیت Perlite΄	1.141 c	1.43 d	0.067 d
'بنفش' 'Purple'	کوکوپیت + پوکه معدنی Cocopeat+ Pumice	1.212 b	1.68 b	0.18 b
	پوکه معدنی Pumice	0.963 d	1.22 g	0.148 e
	پرلیت + پوکه معدنی Pumic + Perlite	1.222 ab	1.63 b	0.18 a
	ماسه Sand	0.967 d	1.17 h	0.138 f
	پرلیت+کوکوپیت Perlite+ Cocopeat	1.263 a	1.79 a	0.194 a
	ماسه + پرلیت Sand+ Perlite	1.189 bc	1.57 c	0.180 b
	پوکه معدنی+ ماسه Pumice + Sand	1.187 bc	1.50 de	0.170 c
	کوکوپیت+ ماسه Cocopeat+ Sand	1.168 bc	1.52 cd	0.180 b
	کوکوپیت Cocopeat	1.149 c	1.42 f	0.159 d
	پرلیت Perlite΄	1.160 c	1.45 ef	0.164 c

* حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح $p<0.05$ می‌باشند.

Similar letter in each column indicate non-significance at $p<0.05$ using LSD test.

در تحقیق حاضر ترکیب کوکوپیت و پرلیت با افزایش در ترکیب رنگدانه‌ها، کاروتنوئید و آنتوسیانین همراه بوده است. افزایش در میزان رنگدانه‌ها به کارایی بالاتر دستگاه فتوسنتزی و در نتیجه تولید بیشتر ماده خشک و افزایش عملکرد و اجزای آن منجر شده است. به‌طور کلی ترکیب نمودن بسترهای کشت اثرات هم‌افزایی زیادی بر وضعیت رشد گیاه داشته است. هر یک از بسترهای کشت دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی می‌باشند که موجب بروز اختصاصات مثبت و منفی در آنها شده است. ایجاد تعادل بیشتر در جهت بهبود ظرفیت

نگهداری آب و هوا، رشد بیشتر ریشـه در محـیط مطلـوب و افـزایش سطح جذب عناصر غذایی توسط ریشه از جمله تغییراتی است کـه در نتیجه ترکیب نمودن بسترها در این آزمایش محقق شده اسـت. ارقـام 'سبز' و 'بنفش' ریحان نیز واکنش‌های متفاوتی را نسـبت بـه شـرایط کشت بدون خاک نشان دادند کـه ایـن امـر در تـا حـدود زیـادی بـه ویژگی‌های ژنتیکی ارقام مورد بررسی ارتباط دارد.، هر چند در بسیاری از صفات مورد بررسی رقم ریحان 'بنفش' نتایج بهتـری را نشـان داد. به‌همین دلیل با توجه به هزینه‌ی اولیه‌ی بالاتر در استقرار سیستم‌های کشـت بـدون خـاک، انتخـاب ارقـام مناسـب جهـت کشـت تجـاری محصولات مختلف ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

References

1. Alaei, M., Roosta, H.R., Mortazavi, N., & Alaei, H. (2014). A comparison of various substrates impact on yield and quality of *Chrysanthemum ×morifolium* cv. Puma in hydroponic and aquaponic systems. *Plant Production*, 37(3), 115-127. (In Persian)
2. AlShrouf, A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering Technology*, *27*, 247–255.
3. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*, 1-15. https://doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1
4. Bharathi, V., Priya, A.S., & Firdous, S.J. (2012). Antibacterial activity of stem extracts of *Ocimum basilicum*. *Journal of Chemical, Biological and Physical Science*, *2*, 298–301.
5. de Carvalho, R.O., Machado, M.B., Scherer, V.S., Fuentes, G.C., da Luz, C.A.S., & da Luz, M.L.G.S. (2015). Hydroponic lettuce production and minimally processed lettuce. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*, *17*, 290–294.
6. Doaguie, A., & Ghazanfari Moghadam, A. (2015). The Application of date palm fibers as growth medium and optimization of moisture content and holding capacity by response surface methodology. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *5*(4), 1–14.
7. Ferrarezi, R., & Bailey, D. (2019). Basil performance evaluation in aquaponics. *Horticulural Technology*, *29*, 1-9. https://doi.org/10.21273/HORTTECH03797-17
8. Filep, R.M., Diaconescu, S., Costache, M., Stavrescu-Bedivan, M.M., Badulescu, L., & Nicolae, C.G. (2016). Pilot aquponic growing system of carp (*Cyprinus carpio*) and basil (*Ocmium basilicum*). *Agriculture and Agriculture Science Procedia*, *10*, 255-260. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.09.062
9. Fotouhi Ghazvini, R., Payvast, G., & Azarian, H. (2007). Effect of clinoptilolitic-zeolite and perlite mixtures on the yield and qulity of strawberry in soil-less culture. *Journal of Horticultural Science*, *9*(6), 885-888.
10. Ghasemi Ghehsareh, M., Ghanbari Soleimanabadi, M., & Reezi, S. (2021). Effects of peat moss, cocopeat and licorice residues on geranium growth characteristics (*Pelargonium × hortorum* 'Ringo 2000 Deep Red'). *Flower and Ornamental Plants*, *6*(1), 71 -84. https://doi.org/10.52547/flowerjournal.6.1.71
11. Gruda, N., Qaryouti, M.M., & Leonardi, C. (2013). Growing media. In Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops–principles for Mediterranean climate areas (Baudoin W. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO*), Rome, Italy. 271–302.
12. Khalaj, M., Amiri, M., & Azimi, M.H. (2014). Effect of different growth media on nutrients uptake, growth characteristics and yield of Gerbera (*Gerbera jamesonii*) in a soil-less culture system. *Journal of Horticultural Science*, *27*(4), 470-479. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.30664
13. Kharrazi, M., Sharifi, A., Nejatizadeh, S., Khadem, A., & Moradian, M. (2020). Selection of optimal cultivation media for gerbera (*Gerbera jamesonii*) growth in the hydroponic culture system. *Journal of Horticultural Science*, *34*(2), 261-271. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i2.79193
14. Lal, R. (2013). *Beyond Intensification*. Paper Presentation at the ASA, CSSA, & SSSA International Annual Meetings, Tampa, Florida, USA.
15. Landi, M., Guidi, L., Pardossi, A., Tattini, M., & Gould, K.S. (2014). Photoprotection by foliar anthocyanins mitigates effects of boron toxicity in sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Planta*, *240*, 941–953. https://doi.org/10.1007/s00425-014-2087-1
16. Latha, G.K., & Nagesh. (2022). Aquaponics-a new approach for vegetable production. *Vigyan Varta*, *3*(11), 51-54.
17. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *1*(1), F4-3.
18. Makri, O., Kintzios, S., & Ocimum S.P. (2008). Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. *Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants*, *13*, 123–150.
19. Mazari, H., Delshad, M., & Kashi, A. (2019). The effects of substrate physical properties on growth and irrigation water use efficiency of greenhouse tomato transplant. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 49 (4): 869-880. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.228050.1191
20. Mol, J., Grotewold, E., & Koes, R. (1998). How genes paint flowers and seeds. *Trends in Plant Science*, *3*, 212–217. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01242-4

21. Pivot, D., Reist, A., Gillioz, J.M., & Ryser, J.P. (1993). *Water quality, climatic environment and mineral nutrition of tomato (Lycopersicon esculentum) in closed soilless cropping system*. International Symposium on Water Quality & Quantity -Greenhouse, 207–214.
22. Prinsi, B., Morgutti, S., Negrini N., Faoro, F., & Espen, L. (2020). Insight into composition of bioactive phenolic compounds in leaves and flowers of green and purple basil. *Plants*, *9*, 22. https://doi.org/10.3390/plants9010022
23. Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S., & Thoman, E.S. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulurae*, *648*, 63–69. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8
24. Roosta, H.R., & Arabpour, S. (2013). Comparision of the growth, mineral nutrient concentrations and essential oil of two iranian local basil (*Ocimum basilicum*) in hydroponic and aquaponic systems. *Journal of Horticultural Science*, *27*(3), 235-246. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.26350
25. Roosta, H.R., & Afsharipour, S. (2012). Effects of different cultivation media on vegetative growth, ecophysiological traits and nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. *Advances in Environmental Biology*, *6*, 543-555.
26. Roosta, H.R., Bagheri, V., & Kian H. (2017). Effect of different planting substrates on vegetative and physiologic characteristics and nutrients content of rose (*Rosa hybrida* var. grandgala) in hydroponic system. *Soil and Plant Interactions (Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture)*, *28*(7), 27-39. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.27
27. Tattini, M., Landi, M., Brunetti, C., Giordano, C., Remorini, D., Gould, K. S., & Guidi, L. (2014). Epidermal coumaroyl anthocyanins protect sweet basil against excess light stress: multiple consequences of light attenuation. *Physiologia Plantarum*, *152*, 585–598. https://doi.org/10.1111/ppl.12201
28. United Nations (UN), (2016). UN news: World population. Available from: https://news.un.org/en/tags/world-population-report-2016 (Last viewed Jan 2023).
29. Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, *64*(1), 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88